

N° d'ordre :

N° de série :

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculte des Sciences et Technologie et des Sciences de la Matiere

Département Génie Mécanique



Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Présenté par : GOSSA Nabil

Elaboration et caractérisation expérimentale du
comportement mécanique du béton à base de
fibres de palmier dattier

Soutenu le 30/06/2013

Devant le jury composé de :

Mme	I. ALLOUI	MC(A)	Président	UKM Ouargla
Mr	A. GHERFI	MA(B)	Examineur	UKM Ouargla
Mr	R. BELAKROUM	MA(A)	Rapporteur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2012-2013

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma mère je lui souhaite longue vie et parfaite santé, et je n'oublie pas, mon père que Dieu ait son âme.

A mes frères : Lazhar, badereddinne, Bassam et Bilal

A mes sœurs : Lillia et Warda

A toute la famille : GOSSA et DIF

A la petite fille de mon frère ROAYA

A leurs proches : Houari, Antar, Walid, Adel

A mes amis

*A tous mes collègues de la promotion de 2^{eme} année Master
maintenance industrielle*

A tous (es) qui ont contribués de près ou de loin à ma réussite.

Remerciements

Tout d'abord, louange à Dieu, Le tout Puissant, qui nous a permis grâce à ses faveurs et bien fait, de concrétiser ce travail.

Aussi je tiens à remercier mon directeur de recherche, Le professeur R. BELAKROUM, pour son soutien scientifique, et pour ses précieux conseils et aussi ses encouragements, Je lui exprime toute ma gratitude.

Je remercie messieurs les membres de jury :

➤ *Mme. I. ALLOUI*

➤ *Mr. A. Gherfi*

Qui ont accepté de participer au jury de soutenance

Je vaudrais aussi remercier MA MERE pour son courage et son soutien moral tout le long de ce travail, ainsi que toute MA FAMILLE (ROAYA).

Je remercie tous mes amis et tout particulièrement SID

ABDELKADER.

Enfin, je remercie toute personne ayant participé de près ou loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Introduction générale.....	1
 Chapitre 1. Etude bibliographique	
1. Introduction.....	4
2. Définition d'un matériau composite.....	4
3. Les différents types des fibres industrielles utilisées dans le renforcement du béton.....	5
4. Les fibres végétales.....	6
4.1 Classification des fibres végétales.....	6
4.2 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales.....	7
4.3 Les fibres de palmier dattier.....	8
5. Utilisation des fibres dans la construction.....	8
6. Les bétons de fibres.....	9
7. Conclusion.....	10
 Chapitre 2 Méthodes expérimentales pour la caractérisation mécanique des éco-matériaux à base de fibre végétale	
1. Introduction.....	13
2. Eco-matériaux.....	13
3. Durabilité des composites de fibres végétales.....	14
4. Comportement mécanique des bétons de fibres.....	15
5. Comportement en traction des fibres.....	16
6. Méthodes d'amélioration de la durabilité des composites renforcés par des fibres végétales.....	16

6.1	Traitement de la fibre.....	17
6.2	Traitement de la matrice.....	17
7.	Conclusion.....	18

Chapitre 3. Expérimentation du béton de fibre de palmier dattier

1.	Introduction.....	20
2.	Elaboration le béton en fibre de palmier dattier.....	20
3.	L'essai de la résilience.....	22
3.1.	Expérience de la résilience.....	23
4.	L'essai de flexion.....	25
4.1.	Expérience de la flexion.....	25
5.	L'essai de compression.....	29
5.1.	Expérience de la compression.....	29
6.	Conclusion.....	32

Conclusion générale.....	33
---------------------------------	-----------

Bibliographie.....	
---------------------------	--

Annexe.....	
--------------------	--

Résumé.....	
--------------------	--

Liste des figures

Chapitre 1

Etude bibliographique

Figure 1-1 : schéma d'un matériau composite5

Chapitre 2

Méthodes expérimentales pour la caractérisation mécanique des éco-matériaux à base de fibre végétale

Figure 2-1 : Définition des grandeurs caractéristiques du comportement en d'un composite fibré15

Figure.2-2 : courbe contrainte déformation de quelques fibres végétales..... 16

Chapitre 3

Expérimentation du béton de la fibre de palmier dattier

Figure 3-1 : Les différents types de béton de fibre de fibre de palmier dattier avec dimensions $(L \times I \times H) = (150 \times 70 \times 60) \text{ mm}^3$, ces les échantillons pour l'essai de compression.....21

Figure 3-2 : Les échantillons (n° 1, n° 2) pour l'essai de flexion avec dimensions $(L \times I \times H) = (360 \times 150 \times 30) \text{ mm}^3$ 21

Figure 3.3 : Les échantillons (n° 3, n° 4) pour l'essai de flexion avec dimensions $(L \times I \times H) = (360 \times 150 \times 30) \text{ mm}^3$ 22

Figure 3.4 : Désignation de l'appareil du mouton-pendule.....23

Figure 3.5 : représente l'essai de flexion (a) et (b).....	26
Figure 3.6 : courbes de contrainte-déformation (de flexion) de l'échantillon n° 1..	27
Figure 3.7 : courbes de contrainte-déformation (de flexion) de l'échantillon n° 2.....	28
Figure 3.8 : courbes de contrainte-déformation (de flexion) des les échantillons n° 3	28
Figure 3.9 : courbes de contrainte-déformation (de flexion) des les échantillons n° 4	29
Figure 3.10 : Démarrage du processus de compression.....	30
Figure 3.11 : courbes de contrainte-déformation de l'échantillon n° 1.....	30
Figure 3.12 : courbes de contrainte-déformation de l'échantillon n° 3.....	31
Figure 3.13 : courbes de contrainte-déformation de l'échantillon n° 4.....	32

Liste des tableaux

Chapitre 1

Etude bibliographique

Tableau 1.1 : Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres.....	5
Tableau 1.2 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.....	7
Tableau 1.3 : Principales propriétés physiques des FSPD (Dokar, Elghers, D-Nour et D-Bida).....	8
Tableau 1.4 : Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment.....	9
Tableau 1.5 : Résistance à la traction (Rt) et à la flexion (Rf) de quelques BF par rapport au béton classique (BC).....	10

Chapitre 2

Méthodes expérimentales pour la caractérisation mécanique des éco-matériaux à base de fibre végétale

Tableau 2.1 : propriétés caractéristiques d'un éco-matériau.....	14
---	----

Chapitre 3

Expérimentation du béton de fibre de palmier dattier

Tableau 3.1 : Dosage pour différents échantillons du béton en fibre de palmier dattier.....	20
Tableau 3.2 : Les résultats des essais sur l'échantillon n ° 1 (10× 10) mm ²	24

Tableau 3.3: Les résultats des essais sur l'échantillon n ° 2 (10× 10) mm².....24

Tableau 3.4: Les résultats des essais sur l'échantillon n ° 3 (10× 10) mm².....24

Tableau 3.5: Les résultats des essais sur l'échantillon n ° 4 (10× 10) mm².....25

Introduction générale

Le Béton dans des conditions naturelles normales est resté le matériau le plus couramment utilisé depuis l'antiquité. Il a l'avantage du coût faible et de sa technique de mise en œuvre assez facile. Ce mélange de produit d'origine naturelle présente en particulier une bonne résistance aux forces de compression, Par contre, son comportement à la traction doit être amélioré par l'ajout d'autres éléments. Parmi les anciennes solutions appliquées pour le renforcement du béton afin d'améliorer ses propriétés, on rajoutait souvent les fibres. Notez qu'ils existent plusieurs types de fibres, cependant, les fibres d'origine végétale ont démontré une efficacité remarquable dans l'amélioration de la tenue mécanique du béton.

Depuis quelques années, l'intérêt des industrielles et chercheurs s'est porté sur certains types de béton qu'on qualifie de béton léger. Ces derniers sont le résultat du mélange de fibres végétales et d'un liant qui pourrait être de la chaux. Les bétons légers sont surtout sollicités par rapport à leurs propriétés en matière d'isolation thermique et même phonique. En raison de la disponibilité de la fibre de palmier, nous nous sommes intéressés à l'étude et la caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton de fibres de palmier dattier.

Actuellement, la fabrication d'éléments de construction en béton de fibre de palmier dattier demeure artisanale. Cependant, les procédés modernes de fabrication et l'amélioration des connaissances de leurs comportements mécaniques et physiques doivent pouvoir contribuer à l'amélioration de leurs performances. Par ce modeste travail, nous voulons mettre les bases pour faciliter le développement de ce secteur à l'avenir, et de contribuer au développement d'un matériau de construction à impact environnemental limité.

Le présent mémoire est structuré en trois parties :

- Le premier chapitre englobe une recherche bibliographique sur les bétons de fibre végétale.
- Le deuxième chapitre concerne les éco-matériaux à base de fibre végétale, la durabilité des composites de fibres végétales et le comportement mécanique des bétons de fibres.

[Tapez le titre du document]

- Le troisième chapitre portera sur Les résultats expérimentaux obtenu grâce aux expérimentations réalisées au niveau des laboratoires du département de Génie Mécanique.

1.1. Introduction

Les bétons de fibre sont de plus en plus utilisés dans le domaine de la construction, on appelle béton, le matériau constitué par le mélange, dans des proportions convenables, de ciment, de granulats (sables, gravier) et d'eau. Le béton armé est le matériau obtenu en enrobant dans du béton des aciers disposés de manière à équilibrer les efforts auxquels le béton résiste mal par lui-même, c'est à dire les efforts de traction ou renforcer le béton pour résister aux efforts de compression s'il ne peut, à lui seul, remplir ce rôle, il est renforcé parfois par des fibres de différentes natures qui donnent des matériaux composites.

Le béton est le matériau le plus utilisé dans la construction, grâce à ses propriétés à savoir la facilité de moulage, la rigidité, la résistance à la compression et la tenue au feu.

Les propriétés mécaniques du béton de fibres dépendent de plusieurs facteurs qui sont les conditions de mise en œuvre, l'espacement, l'orientation et la distribution des fibres dans le béton.

On distingue aussi les paramètres liés aux fibres tels que la nature, les caractéristiques mécaniques, le facteur de forme et l'élancement des fibres.

Dans ce qui suit nous allons exposés des généralités sur les fibres : types, caractéristiques, utilisations... ainsi que quelques propriétés des bétons de fibres.

1.2. Définition d'un matériau composite

Un matériau composite est constitué généralement d'une ou de plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes le composite est dit hybride. La phase discontinue est habituellement plus dure et avec des propriétés mécaniques en traction supérieures à celle de la phase continue. La phase continue est appelée matrice et la phase discontinue est appelée renfort.

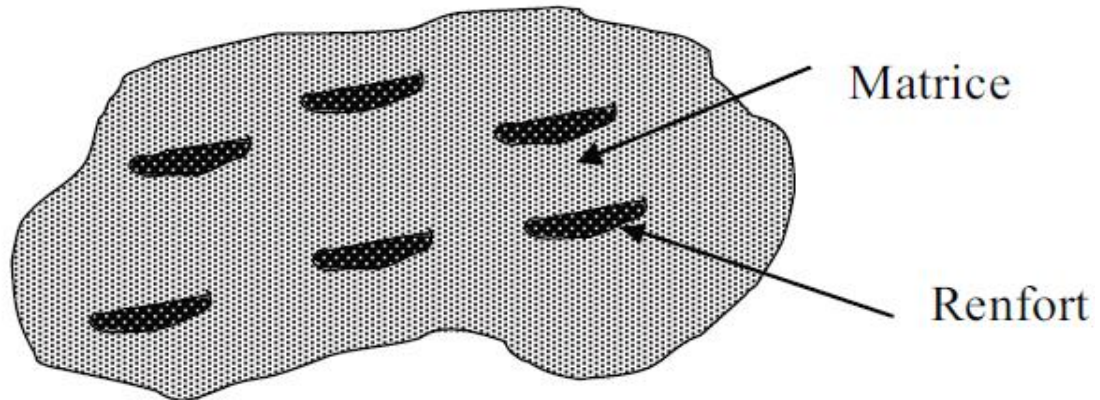


Figure 1.1 : schéma d'un matériau composite

1.3. Les différents types de fibres industrielles utilisées dans le renforcement du béton

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans la construction, parmi eux nous citons :

- a) Les fibres métalliques (acier, fonte).
- b) Les fibres organiques (polypropylènes, polyesters, polyamides et polystyrènes).
- c) Les fibres minérales (amiante, verre, carbone).
- d) Les fibres végétales (Jute, sisal, coir, bois, bambou, palmier).
- e) Les fibres animales (poil, laine, soie).

Le tableau 1.1 ci-dessous donne quelques caractéristiques des différentes fibres utilisées.

Tableau 1.1 : Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [2,4-5]

Fibre	Diamètre en μm	Densité en (g/cm^3)	Module d'élasticité en GPa	Résistance à la traction en GPa	Allongement de rupture en %
Acier	5-500	7,8	200	1-3	3-4

[Tapez le titre du document]

Verre	5-20	2,6	80	1,5-3	2-3,5
Polypropylène	10,200	0,9	5-10	0,4-0,75	15-25
Amiante	0,02-20	2,5-3,4	200	3	2,3
Jute	18-2000	1,45	-	0,35	3-4
Polyester	-	1,4	8	0,7-0,85	11-13
Sisal	10-50	1,5	15,2	0,8	3
Cellulose	14-45	1,5	20-40	0,15-0,5	8-12
Coir	20-700	1,08	2.8	0,17	37.7
Carbone	5-9	1,7-2,0	250-400	2-3	0,5-1,5

1.4. Les fibres végétales

L'utilisation des fibres naturelles d'origine végétale dans la construction remonte à la période où l'on fabrique des briques renforcées par la paille ou des roseaux [6]. Dans le temps moderne (depuis l'année 70), le premier composite liant avec les fibres végétales c'était le plâtre. Plusieurs ouvrages sont réalisés avec du plâtre renforcé de fibres végétales [4]

Actuellement le monde connaît de récents développements dans le domaine du renforcement de ciment et béton avec des fibres végétales. Suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, plusieurs recherches sont orientées vers la substitution de l'amiante par des fibres végétales [3]

1.4.1. Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir: les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

a) Les fibres de feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides.

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequen et d'abaca [10].

De ces fait, plusieurs chercheurs tel que : NILSSON [7], AYYAR et al [8] ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles.

b) Les fibres de tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes. Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sunn, de kennaf, de urena et de chanvre [9].

NILSSON [7] rapporte que les fibres de tige, les plus utilisées dans le renforcement du ciment, sont celles de sun, de chanvre et de jute.

c) Les fibres de bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs [3,10] ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

d) Les fibres de surface

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le Cotton et la noix de coco (coco). Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre [1].

Il est à noter que, les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres.

1.4.2. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité, sa teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau [3]. Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, à la rupture et par le module d'élasticité.

Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par plusieurs chercheurs [3,11] (Tableau 1-3)

Tableau 1.2 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales

Fibres	Référence	Densité (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Coton	[1]	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	[1]	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	[1]	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	[1]	--	1.6	690	--
Ramie	[1]	--	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	[1] [12] [14]	-- 0.75-1.07 1.5	2.6 2.08-4.08 2.0-2.5	278 577.50 511-635	-- 10.94-26.70 9.4-22.0
Noix de Coco	[1] [12] [14]	1.2 0.67-1.00 1.33	30.0 13.7-41.0 -	175 174 72	4.0-6.0 2.5-4.5 2.0
Palmier	[3]	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25

Dattier					
---------	--	--	--	--	--

1.4.3. Les fibres de palmier dattier

Parmi les fibres végétales les plus cultivées, on peut citer les fibres de palmier dattier. Dans le sud de notre pays, il y'a plus de 800 variétés de palmier dans les oasis d'après des statistiques universitaires [3]. Les types les plus connus sont : Deglette Nour, Dokar, Elghers (appellation locale). On peut avoir plusieurs types de fibre dans le palmier : de bois, de feuille, de tige, de surface... d'après la bibliographie, on peut résumer (Tableau 1.3) les propriétés physiques principales des fibres de surface de palmier dattier

Ainsi parmi les caractéristiques des fibres de surface de palmier dattier, on peut citer d'après les chercheurs [3,11] :

- Un pouvoir d'absorption assez élevé (123.5% en moyenne),
- Les fibres sont poreuses avec une surface alvéole,

Le pourcentage de cellulose (le responsable de la résistance) est relativement faible par rapport aux fibres de Sisal.

Tableau 1.3 : Principales propriétés physiques des FSPD (Dokar, Elghers, D-Nour et D-Bida) [3,11]

Propriété	Minimum - Maximum	Moyenne - CV(%)
Diamètre (mm)	0.10-1.00	0.45-54.43
Densité Absolue (kg/m ³)	1300-1450	1383.33-5.52
Densité Apparente (kg/m ³)	512.21-1088.81	900-17.64
Teneur en eau naturelle (%)	9.50-10.00	10-5.00

1.5. Utilisation des fibres dans la construction

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. A titre d'exemple le tableau (1-4) résume les diverses applications des fibres dans les produits cimentaires.

[Tapez le titre du document]

L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales. Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre [15].

Par ailleurs, l'utilisation des fibres de polymère, de carbone et d'acier est de plus en plus pratiquée dans plusieurs domaines et spécialement dans la fabrication des panneaux et dans la restauration et la réparation des ouvrages anciens endommagés.

Tableau 1.4: Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [3,16].

Type de fibre	Application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en voile mince, enduit
Acier	Elément de toitures en béton cellulaire, linteau, revêtement de chaussée, tabliers de pont, produit réfractaire, tuyaux en béton, piste d'atterrissage, réservoirs sous pression, travaux de restauration bâtiments.
Polypropylène Nylon	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, élément flottant de débarquement et amarres pour les marinas, réparation des routes, tuyau sous marin, travaux de restauration bâtiments.
Amiante	Voiles, tuyau, panneaux matériaux d'isolation thermique, tuyaux d'égouts plaques de toitures plates et ondulées, revêtement des murs.
Carbone	Elément ondulé pour la construction des planchers, membrane simple ou double courbure, coques, plancher d'échafaudage.
Particules de Mica	Panneaux, tuyaux, travaux de restauration
Végétale	Dalles, tuiles.

1.6. Les bétons de fibres

Le matériau composite bétons de fibres est un matériau relativement nouveau dans le domaine de la construction. C'est vers les années 1900 [13], qu'a eu lieu la

[Tapez le titre du document]

première utilisation du béton de fibres d'amiante. Les BF possèdent plusieurs avantages tels qu'une bonne résistance à la fissuration et à la traction, ainsi qu'une bonne ductilité. Par ailleurs, sa résistance à la compression est généralement inférieure à celle du béton classique. Mais, sa résistance à la compression peut être légèrement améliorée par une bonne orientation des fibres dans la matrice.

Le tableau 1-5 donne la résistance à la traction (R_t) et à la flexion (R_f) de quelques bétons de fibre.

Tableau 1.5 : Résistance à la traction (R_t) et à la flexion (R_f) de quelques BF par rapport au béton classique (BC) [17, 4]

Types de fibres	Volume de fibres en (%)	R_t (BF) / R_t (BC)	R_f (BF) / R_f (BC)
Acier	0.5	2.5-4.0	-
	1.0	4-5.5	-
	1.5	10.0-25.0	2.0
Verre	1.0	1.7-2.0	2.5-3.5
Polypropylène	0.5	1.5-2.0	-
	1.0	2.0-3.5	-
	1.5	3.5-15	-
Nylon	1.0	1.5-1.7	-
Palmier dattier	0.4	0.87-1.06	1.14-1.41

Le béton de fibres végétales est un matériau composite relativement nouveau, la composition de deux matériaux non homogènes à savoir le béton et les fibres végétales, ce qui rend sa caractérisation plus difficile.

1.7. Conclusion

[Tapez le titre du document]

L'utilisation des fibres de toutes natures dans plusieurs domaines en particulier dans la construction est de plus en plus pratiquée. Vu les problèmes de santé que présente les fibres d'amiante, leur substitution par des fibres végétales ou polymères est un enjeu médico-économique important. De ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres végétales, de verre ou de polymère.

La nature des fibres utilisées est en relation avec leurs applications et les modes de mise en œuvre. Le choix des fibres dépend du rôle que l'on désire faire jouer.

Il est certain qu'un rôle structural assez élevé associée à une grande durabilité et à une utilisation économique exige l'emploi de fibres de haute module comparé à celui de la matrice, et non altérables, disponibles sur le marché local à des prix acceptables.

Actuellement, les types de fibres les plus utilisés dans le renforcement des bétons sont les fibres d'acier. Mais vu le problème de santé que présente les fibres d'amiante et le problème économique que présente la production des fibres d'acier, de verre ou de polymère. Particulièrement pour les pays en voie de développement qui possèdent une grande richesse en fibres naturelles, l'avenir en terme de renforcement sera attribué aux fibres naturelles, ou bien à la limite pour les fibres composites (polymère-végétales). Ainsi, il est temps d'orienter

les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles dans la construction d'une façon générale et le béton d'une façon particulière. Quoique l'Algérie soit parmi les pays qui possèdent une multitude des fibres végétales (fibre de palmier, Alfa Abaca, chanvre de coton ...), la valorisation des fibres dans les domaines pratiques n'est pas encore généralisée.

2.1. Introduction

Le secteur du bâtiment se trouve aujourd'hui face à une nécessité de rénover ses pratiques et méthodes de conception afin de prendre en compte les facteurs environnementaux devenus cruciaux

Cette nouvelle manière de concevoir et de dimensionner les bâtiments, encore aujourd'hui marginale, peut être désignée par le terme d'éco-conception. Au sens le plus large, cette pratique se fonde sur :

- des critères économiques : ils s'expriment par la prise en compte du coût global, c'est-à-dire la somme des coûts d'investissement, de fonctionnement et de maintenance ainsi que de démantèlement. Il dépend, notamment, de la durabilité de l'ouvrage,

- des critères environnementaux : ils concernent la consommation de matières premières renouvelables.

De ce fait, à l'heure actuelle, on retrouve un intérêt dans l'utilisation de matériaux d'origine naturelle tels que les végétaux (le bois, le chanvre, le lin, la fibre de palmier dattier,..) on parle d'Éco – matériaux.

L'utilisation de matériaux naturels locaux permet également de réduire le coût de construction.

Dans ce chapitre aussi, sera étudié le comportement des bétons des fibres à base végétale. Il sera examiné aussi la durabilité des fibres. Ainsi, ce chapitre met en évidence la durabilité.

2.2. Eco-matériaux

L'éco-matériau doit permettre de répondre aux critères de l'éco-conception, c'est-à-dire:

- limiter les impacts environnementaux durant tout son cycle de vie,
- procurer des conditions de confort aux occupants du bâtiment pendant son exploitation,
- ne pas présenter de danger pour la santé tant pendant la phase de mise en œuvre que d'utilisation du bâtiment.

Les propriétés du matériau, caractéristiques de ces différents critères, sont détaillées dans le Tableau 2.1.

Tableau 2.1 : propriétés caractéristiques d'un éco-matériau

Propriétés caractéristiques d'un éco-matériau
Impacts environnementaux :
<ul style="list-style-type: none">- Emission de gaz à effet de serre- Energie grise- Consommation de matières premières non renouvelables- Génération, en fin de vie, de déchets à la gestion complexe
Conditions de confort :
<ul style="list-style-type: none">- Thermique : conductivité, inertie, effusivité- Hygroscopique : perméabilité à la vapeur, diffusivité en phases vapeur et liquide, isothermes d'adsorption/désorption- Acoustique : coefficient d'absorption acoustique, indice d'affaiblissement acoustique
Impacts sanitaires :
<ul style="list-style-type: none">- Emissions de polluants chimiques (COVs, formaldéhydes etc.)- Emissions de polluants microbiologiques (prolifération bactérienne, acariens etc.)- Emissions de polluants particuliers (poussières, microfibres etc.)

2.3. Durabilité des composites de fibres végétales

Malgré les résultats encourageants obtenus vis-à-vis des propriétés et notamment des propriétés mécaniques des matériaux de construction renforcés par des fibres végétales, les études réalisées mettent en évidence des déficiences concernant la durabilité des fibres dans la matrice alcaline.

Etant donné la variabilité des notations et des appellations utilisées par les différents auteurs, nous allons en préambule à cette partie définir les termes que nous retiendrons pour définir le comportement en flexion du composite fibré (Figure 2.1)

- la résistance à la première fissure (R_{1f}) correspond à la contrainte de première fissuration de la matrice,
- la résistance de chute (R_c) correspond à la contrainte résiduelle après la rupture de la matrice
- la résistance post pic (R_p) correspond à la contrainte maximale de la phase post-pic.

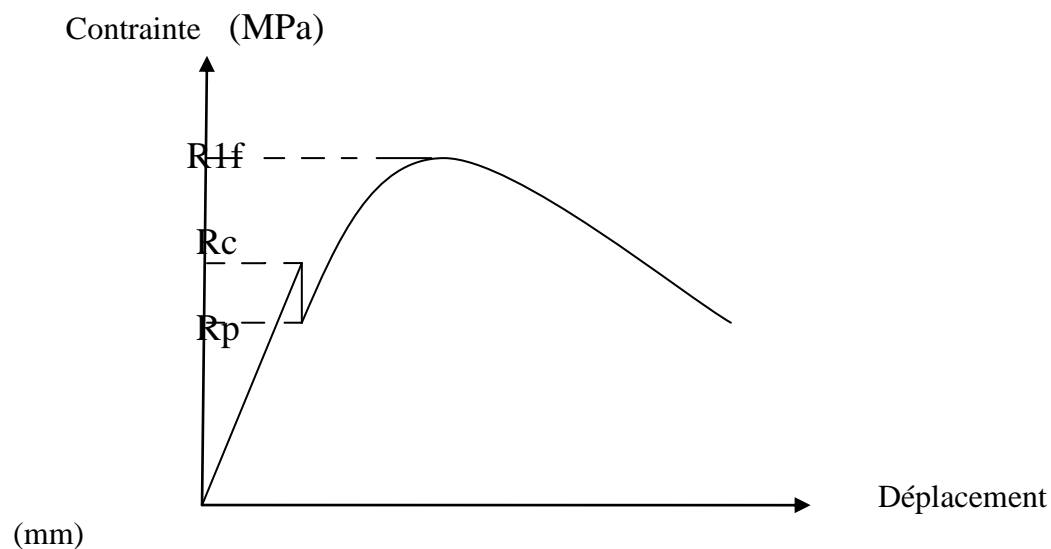


Figure 2.1 : Définition des grandeurs caractéristiques du comportement en flexion d'un composite fibré

2.4. Comportement mécanique des bétons de fibres

Le comportement de ce matériau composite est assez compliqué et difficile à cerner parce qu'il dépend de plusieurs facteurs dépendant eux mêmes de plusieurs variables tels que :

- Les propriétés des fibres qui dépendent de :
 - La nature de fibre (acier, polymère ou végétale)

- L'élancement des fibres.
 - Le pourcentage d'incorporation des fibres.
- Les propriétés de la matrice qui dépendent aussi :
- De la qualité et la quantité de liant.
 - De la qualité et les dimensions des granulats.
 - Du rapport E/L.
- Les conditions de la mise en œuvre qui dépendent :
- Du mode de remplissage du béton (pression, vibration).

2.5. Comportement en traction des fibres

Le comportement en traction des fibres dépend de la nature de celle-ci. Ainsi, si le comportement en traction de l'acier est défini avec précision (élasto-plastique écrouissable) du fait que l'acier est un matériau homogène, le comportement des fibres végétales ne l'est pas parce qu'il dépend de plusieurs paramètres très variables tels que la composition chimique,

La Figure 2.2 présente quelques courbes expérimentales (contrainte déformation) données par SWAMY [10]. Selon ces courbes nous constatons que les fibres testées (Canne de sucre, Jute ou Noix de coco) ont un comportement presque élastique et linéaire au démarrage de l'essai ensuite un comportement plastique jusqu'à la rupture.

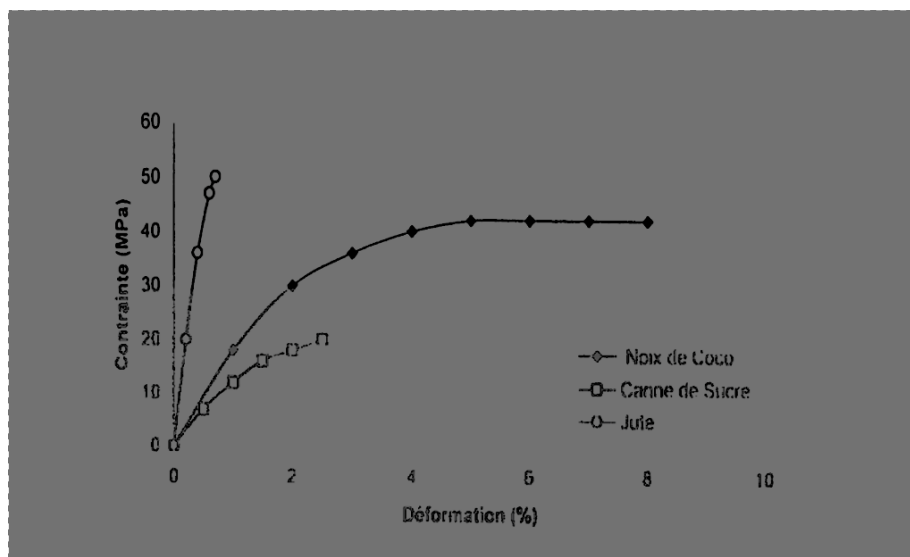


Figure 2.2 : courbe contrainte déformation de quelques fibres végétales [10]

2.6. Méthodes d'amélioration de la durabilité des composites renforcés par des fibres végétales

Différents travaux ont été réalisés afin de pallier à la dégradation des composites à base de fibres végétales. On peut distinguer deux familles de solutions, soit par modification des propriétés des fibres (par imprégnation avec des agents bloquants ou traitants), soit en diminuant l'agressivité de la matrice envers les fibres.

a) Traitement de la Fibre

Les principales méthodes utilisées dans le traitement de l'état de surface des fibres sont :

- Les imprégner d'agents chimiques comme le silicate de sodium, le sulfate de magnésium et d'autre pour constituer une protection contre l'attaque chimique des alcalins.
- Imperméabiliser la fibre avec des produits comme la résine ou la bitume protégeant ainsi la surface de ces dernières contre l'attaque des alcalins libérés par les ciments lors de l'hydratation [18].
- La combinaison des deux méthodes. Cette méthode a donné les résultats les plus satisfaisants [18].

On conclusion ces procédés offrent une bonne protection aux fibres mais elles augmentent le coût de leur exploitation [18].

b) Traitement de la Matrice

La modification de la matrice a été traitée par les méthodes suivantes :

- Obturation des pores de la matrice avec différents produits.
- Réduction de son alcalinité par différents procédés.

➤ Obturation des pores de la matrice

D'après GRAM [19], la limitation des pores peut se faire par l'augmentation de la proportion des fines ou la quantité de chaux, ou par diminution du rapport E/C pour limiter ainsi le transport de l'eau et donc l'alcalinité

➤ **Réduction de l'alcalinité**

Les méthodes les plus utilisées pour la réduction de l'alcalinité de la matrice, sont :

- La carbonatation à jeune âge de la matrice par le gaz carbonique. L'objectif de cette technique est de réduire le taux de la chaux libérée lors des premiers jours d'hydratation [20,12]
- L'utilisation d'un ciment ayant une faible teneur en alcalis spécialement la chaux libérée lors de la réaction d'hydratation. Ainsi plusieurs chercheurs préconisent le remplacement d'une partie de ciment par l'ajout de laitier, de cendres volantes ou bien des produits pouzzolaniques. Seuls les produits à base de pouzzolane naturelle, tel que le métakaolin, ont contribué à l'amélioration de la durabilité [20, 12,18].

2.7. Conclusion

Nos travaux visent à contribuer au développement d'un matériau de construction local en prenant en compte les exigences du contexte environnemental actuel et l'abondance des produits locaux (la fibre de palmier dattier).

3.1. Introduction

D'une manière générale, dans ce chapitre, nous exposons le procédé de fabrication des échantillons du béton de fibres de palmier dattier, qui ont fait l'objet de nos expérimentations.

Nous avons aussi exposées, les caractéristiques des fibres végétales de palmier dattier, en outre, nous avons donné les modes opératoires des différents essais réalisés dans la partie expérimentale, dans le but d'une bonne interprétation des différents résultats expérimentaux.

Nos expérimentations se sont limitées à trois essais, le premier est l'essai de compression, le seconde est l'essai de flexion et le troisième est essai de résilience.

3.2. Elaboration du béton en fibre de palmier dattier

Dans la construction, le béton en fibre de palmier dattier est considéré comme un nouvel Éco- matériau de recherches scientifiques. D'une manière générale, le béton de fibre de palmier dattier est obtenu en mélangeant la fibre de palmier dattier avec un liant à base de chaux et d'eau avec une quantité de sable (sable de quartz). La variation des proportions entre la fibre et le liant permettent d'obtenir des matériaux ayant différentes caractéristiques mécaniques.

Nous avons donc préparé les quatre types du mélange de béton de fibres de palmier dattier, chaque mélange est différent de l'autre en termes de pourcentage de composants de fibres, de liant, d'eau et de sable. Le Tableau 3-1 : présente le pourcentage de composants pour ces types des mélanges.

Tableau 3.1 : Dosage pour différentes échantillons du béton en fibre de palmier dattier

	Chaux (%)	Fibre (%)	Sable (%)	Eau (%)
1 Echantillon	29.6	9.18	20.4	40.82
2 Echantillon	18.82	10.6	23.53	47.05
3 Echantillon	29.24	19.5	12.28	38.98

[Tapez le titre du document]

Echantillon	30.37	6.81	20.94	41.88
4				



Figure 3.1 : Les différents types de béton de fibre de palmier dattier avec dimensions $(L \times I \times H) = (150 \times 70 \times 60) \text{ mm}^3$ (échantillons pour l'essai de compression).



Figure 3.2 : Les échantillons (n° 1, n° 2) pour l'essai de flexion avec dimensions $(L \times I \times H) = (360 \times 150 \times 30) \text{ mm}^3$.



Figure 3.3 : Les échantillons (n° 3, n° 4) pour l'essai de flexion avec dimensions $(L \times I \times H) = (360 \times 150 \times 30) \text{ mm}^3$.

En ce qui concerne les mélanges, il existe différentes techniques pour la mise en œuvre d'un mélange de béton en fibre de palmier dattier. Nous fabriquons des moules de bois, puis nous préparons le mélange constitué de fibres de palmier dattier, de la chaux et du sable ensuite malaxage avec l'eau.

Après avoir préparé le mélange est placé dans des moules en bois, on laisse sécher pour être prêt pour les essais mécaniques. Les dimensions des blocs de béton de fibres de palmier varient selon le type de test qui est appliqué.

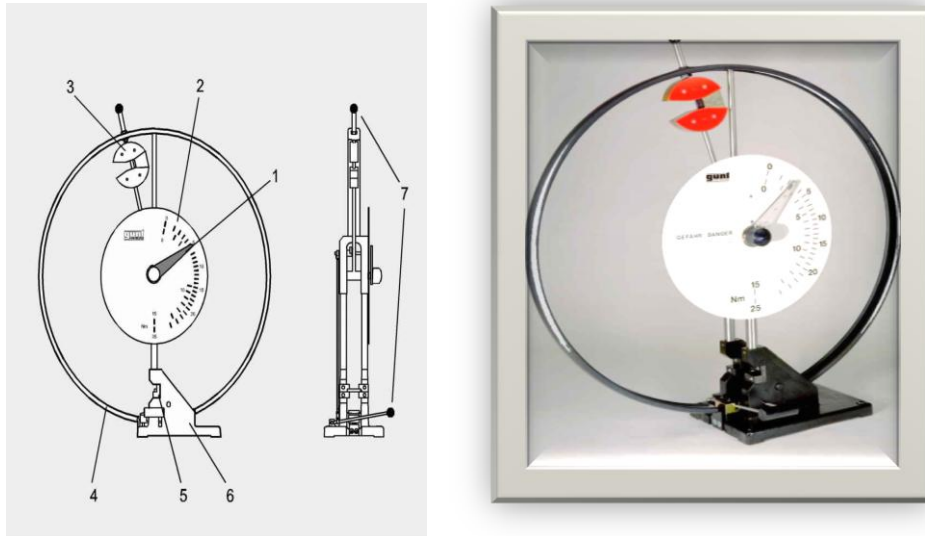
3.3. L'essai de résilience

L'essai de résilience sur échantillon est très apprécié dans la pratique pour évaluer la rupture fragile ou en tant que contrôle de qualité car la préparation et réalisation de ce test sont simples. Le pendule d'impact WP 400 25 Nm est un appareil de table pouvant fonctionner sans être branché sur l'alimentation électrique les matériaux testés sont principalement des échantillons de dimensions $(L \times I \times H) = (55 \times 10 \times 10) \text{ mm}^3$

3.3.1. Expérience de résilience

Le mouton-pendule doit être installé sur une surface plane. Avant de commencer l'expérience proprement dite, faire un essai sans échantillon pour vérifier si le marteau se déplace sans problème et si l'aiguille entraînée fonctionne.

- Régler ensuite le point zéro.
- L'échantillon est positionné sur le goujon prévu à cet effet.
- L'échantillon se brise et éclate lorsqu'il est percuté par le marteau ou il est plié par le choc et tiré entre les appuis.
- L'énergie de choc produite peut être lue sur l'échelle à l'aide de l'aiguille entraînée.



1 aiguille entraînée, 2 échelle de mesure, 3 marteau, 4 anneau de protection, 5 appuis, 6 pied, 7 déclenchements à deux mains et frein

Figure 3.4 : Désignation de l'appareil du mouton-pendule

Après avoir fait des tests sur des échantillons de fibres de palmier dattier, nous avons trouvé les résultats suivants :

Tableau 3.2: Les résultats des essais sur l'échantillon n ° 1 (10× 10) mm²

Echantillon	Energie de choc en Nm	Surface de section d'échantillon en cm ²	Indice de résilience en Nm /cm ²
01	3,5	1	3,5
01	4,2	1	4,2
01	4	1	4
01	3,9	1	3,9

Tableau 3.3: Les résultats des essais sur l'échantillon n ° 2 (10× 10) mm²

Echantillon	Energie de	Surface de	Indice de
-------------	------------	------------	-----------

[Tapez le titre du document]

	choc en Nm	section d'échantillon en cm ²	résilience en Nm /cm ²
02	2,9	1	2,9
02	2,7	1	2,7
02	3,1	1	3,1
02	2,6	1	2,6

Tableau 3.4: Les résultats des essais sur l'échantillon n ° 3 (10× 10) mm²

Echantillon	Energie de choc en Nm	Surface de section d'échantillon en cm ²	Indice de résilience en Nm /cm ²
03	2,8	1	2,8
03	3,2	1	3,2
03	2,5	1	2,5
03	2,5	1	2,5

Tableau 3.5: Les résultats des essais sur l'échantillon n ° 4 (10× 10) mm²

Echantillon	Energie de choc en Nm	Surface de section d'échantillon en cm ²	Indice de résilience en Nm /cm ²
04	2,1	1	2,1
04	1,9	1	1,9
04	2,6	1	2,6
04	2,9	1	2,9

Les résultats de l'essai de résilience offrent une connaissance d'une propriété mécanique très important. Grâce à l'analyse des résultats, nous constatons que le

paramètre principal influant sur l'énergie de choc c'est le rapport de la masse de la fibre et la chaux (F/C).

Pour F/C entre (30% à 60%), l'échantillon présente une plus grande résistance aux chocs.

3.4. L'essai de flexion

L'essai de flexion permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Un échantillon à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de l'échantillon une force croissante jusqu'à la rupture.

3.4.1. Expérience de la flexion

Amener les échantillons effectués afin de tester la flexion, les échantillons avec dimensions $(L \times I \times H) = (360 \times 150 \times 30) \text{ mm}^3$. Nous commençons l'expérience par mettre les échantillons un après l'autre sur la machine de flexion, et nous réglons la vitesse de déplacement de 2 mm/min et la force de 1 Kn/s



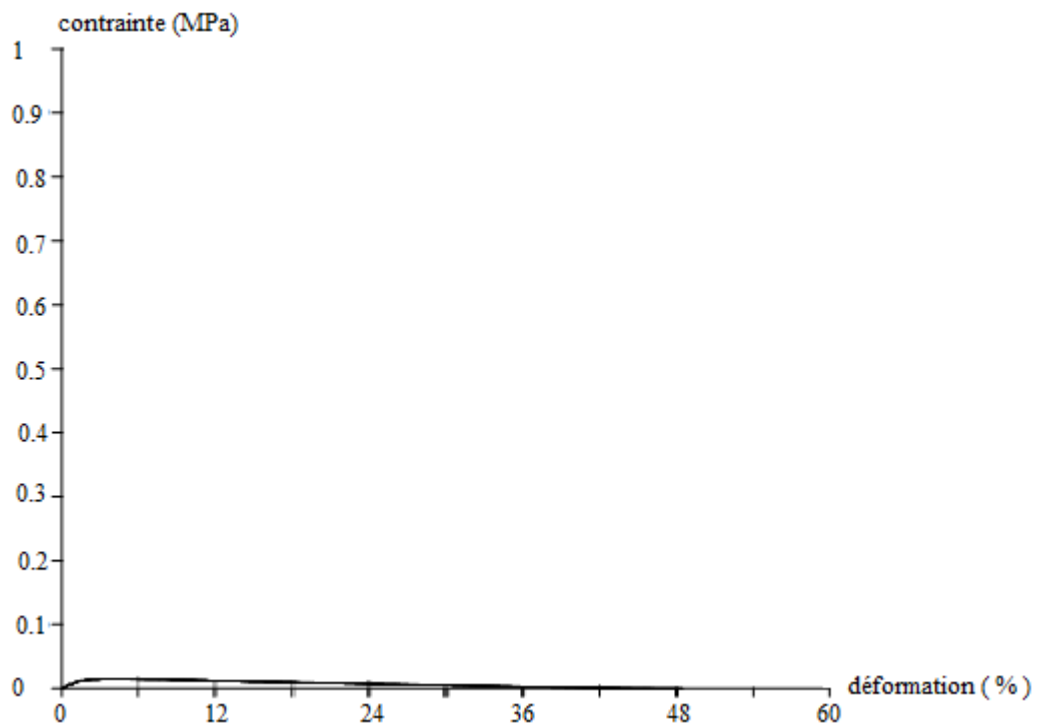
(a)



(b)

Figure 3.5 : représente l'essai de flexion (a) et (b)

Après avoir fait les expériences de la flexion, nous avons enregistré les courbes de contrainte-déformation suivante :

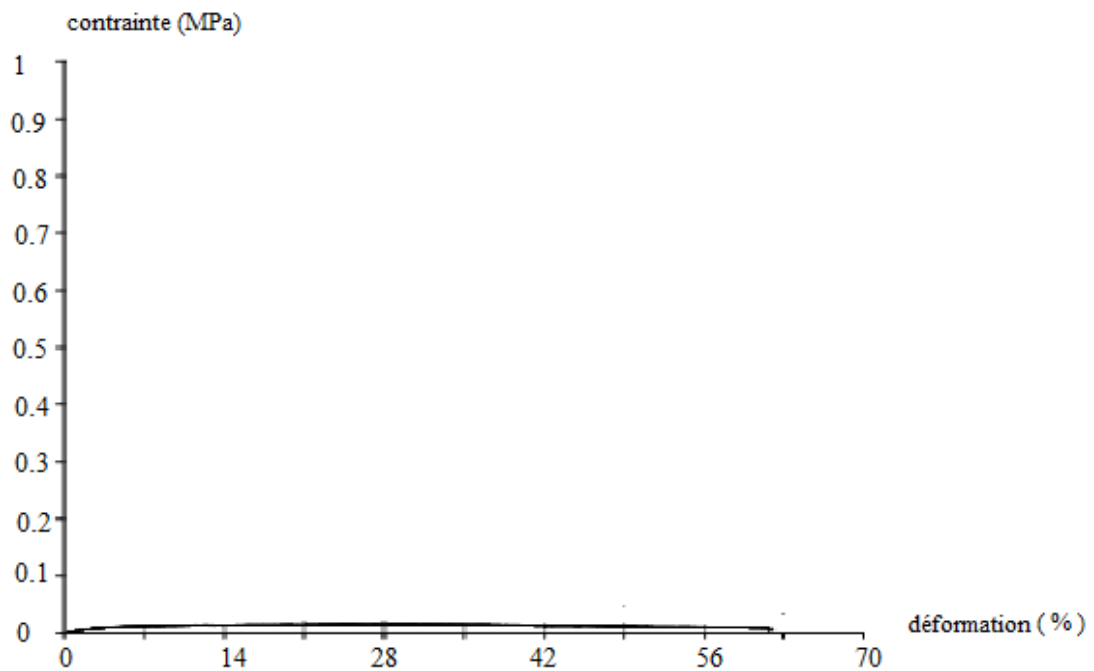


La figure 3.6 : courbes de contrainte-déformation (de flexion) de l'échantillon n° 1

[Tapez le titre du document]

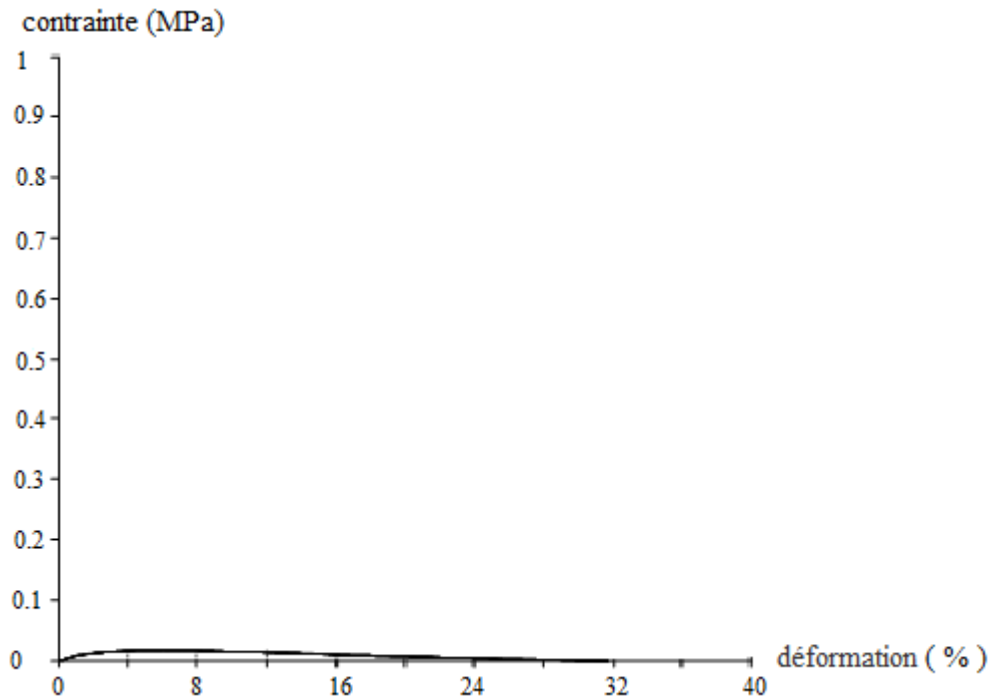
De la courbe, nous constatons que la contrainte maximale de l'échantillon n° 1 avant la rupture est très faible.

Nous notons également qu'il est caractérisé par un grand allongement, ce qui indique une plus grande ductilité et donc ce matériau n'est pas fragile, avec un comportement élastique non linéaire par ce que la déformation élastique n'est pas proportionnelle à la charge qui la provoque.

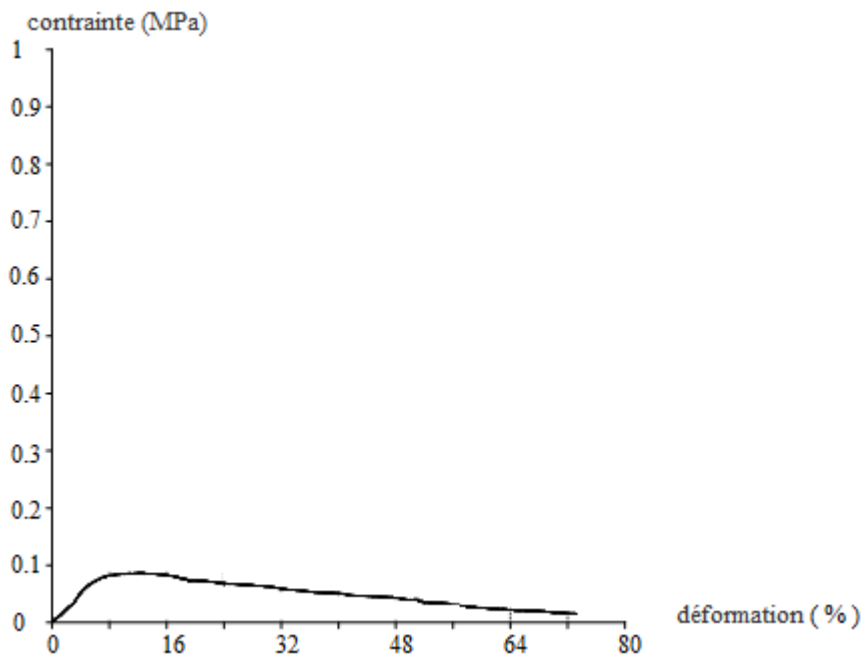


La figure 3.7 : courbes de contrainte-déformation (de flexion) de l'échantillon n° 2

À partir de la courbe au-dessus on n'a pas remarqué un changement dans le comportement de l'échantillon n° 1 par rapport à l'échantillon n° 2



La figure 3.8 : courbes de contrainte-déformation (de flexion) des les échantillons n° 3



La figure 3.9 : courbes de contrainte-déformation (de flexion) des les échantillons n° 4

La même remarque pour les courbes au-dessus, on n'a pas remarqué un changement dans les comportements de l'échantillon n° 3 et n° 4, Sauf pour une petite augmentation de la contrainte maximale de l'échantillon n° 4.

3.5. L'essai de compression

L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette, placée entre les plateaux d'une presse à deux forces axiale opposées. L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragile qui sont difficiles à usiner pour un essai de traction.

3.5.1. Expérience de la compression

Amener les échantillons effectués afin de tester la compression, les échantillons avec dimensions $(L \times I \times H) = (150 \times 70 \times 60) \text{ mm}^3$.

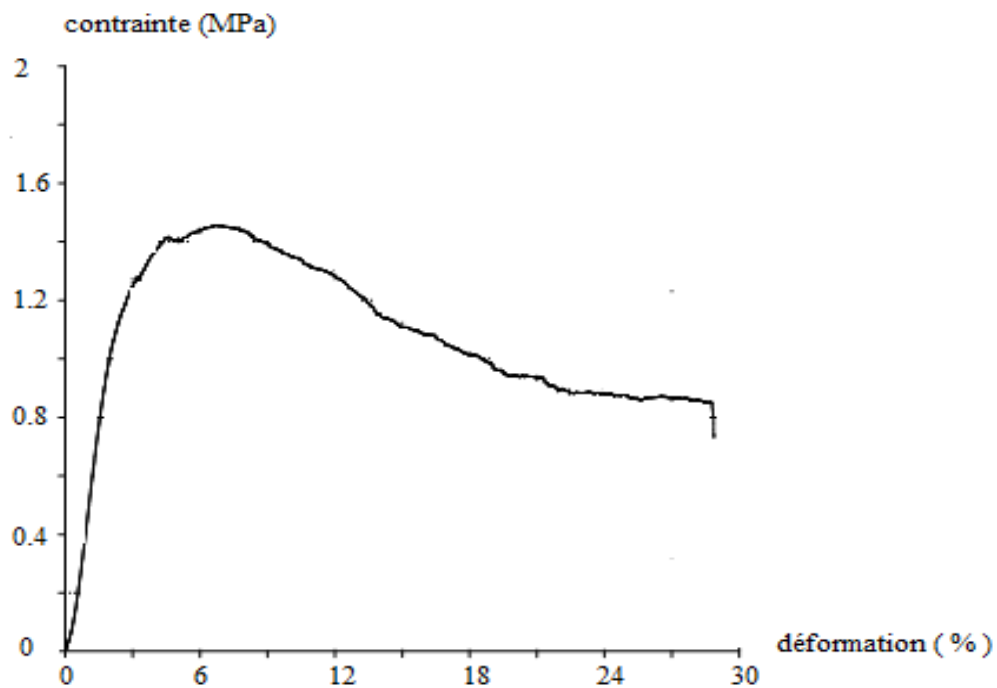
Nous commençons l'expérience par mettre les échantillons l'un après l'autre sur la machine de compression, et nous réglons la vitesse de déplacement de 2 mm/ min et la force de 1 Kn /s

La figure suivante représente l'expérience réalisée.



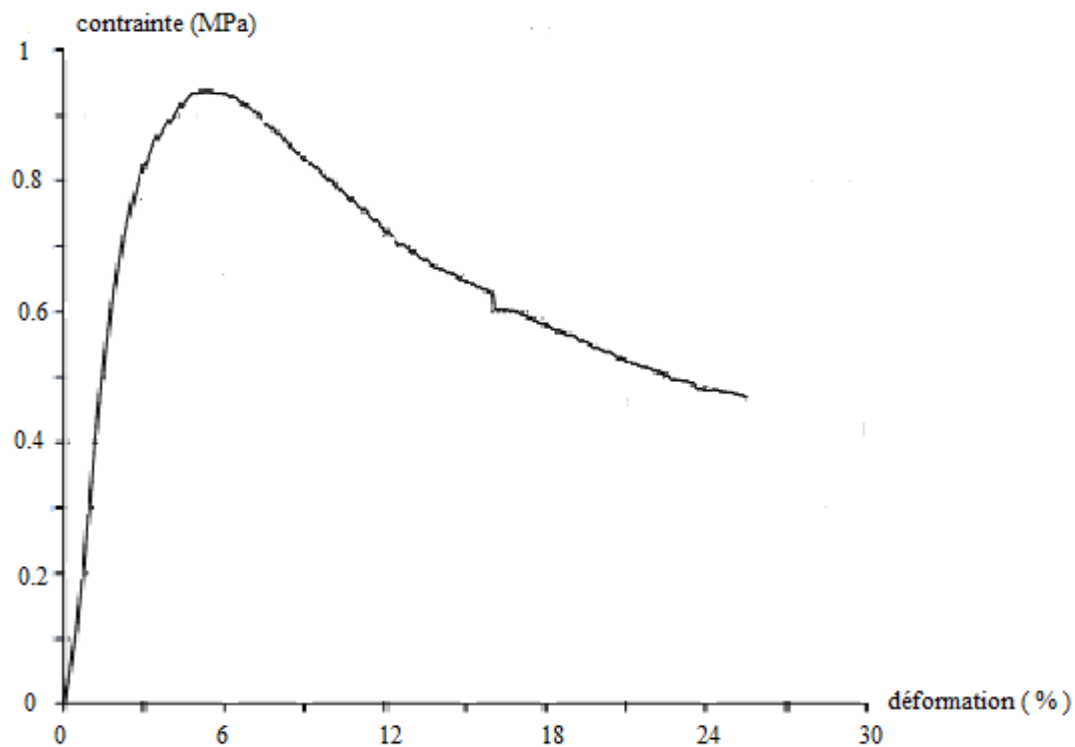
La figure 3.10 : Démarrage du processus de compression

Après avoir fait des expériences, nous avons les courbes de contrainte-déformation la figure 3.11 :



La figure 3.11 : courbes de contrainte-déformation de l'échantillon n° 1

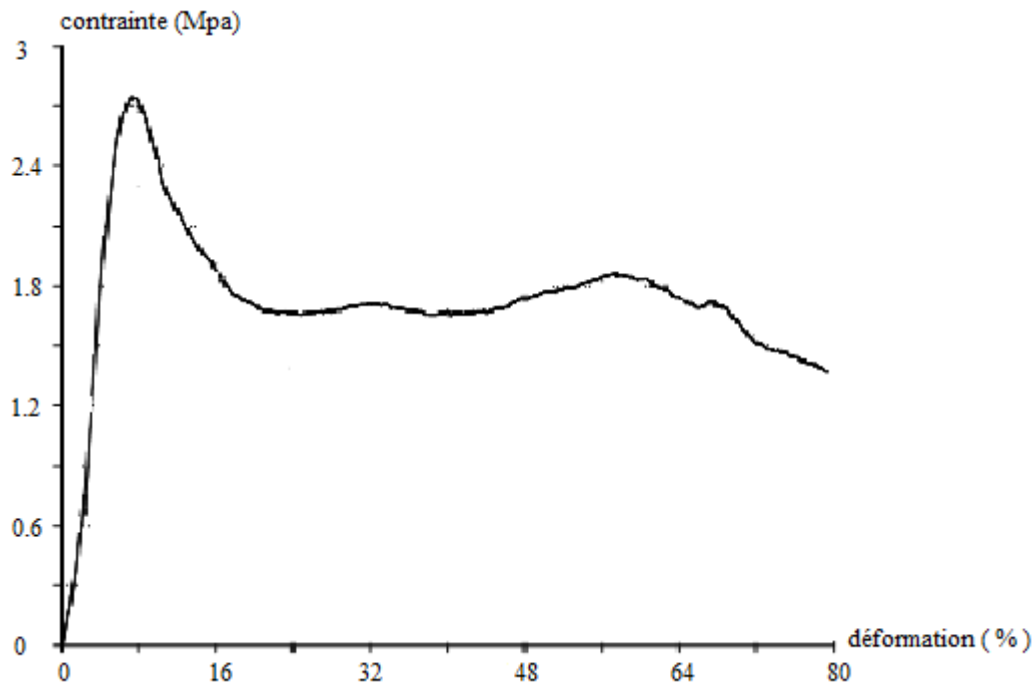
- La ductilité correspond à la capacité d'un matériau à se déformer de façon permanent avant de rompre. Plus l'allongement à la rupture est élevé, donc cet échantillon se caractérise par une ductilité élevée parce que l'allongement à la rupture est élevé, donc ce matériau n'est pas fragile.
- L'échantillon est ductile cela signifie qu'il a une faible rigidité et cela se traduit principalement par le module d'YOUNG (module d'élasticité), plus ce module est élevé, plus le matériau est rigide, dans ce cas le module d'élastique est faible.
- La résistance est la contrainte maximale qu'un matériau supporte avant de se rompre, la contrainte maximale de la courbe est à peu près égale 1,45 MPa



La figure 3.12 : courbes de contrainte-déformation de l'échantillon n°

3

- Une déformation plastique importante avant et pendant la propagation des fissures, donc l'échantillon est ductile.
- L'échantillon est ductile cela signifie qu'il a une faible rigidité et cela se traduit principalement par le module d'YOUNG (module d'élastique), plus ce module est élevé, plus le matériau est rigide, dans ce cas le module d'élastique est faible.
- La résistance est la contrainte maximale qu'un matériau peut supporter avant de rompre, la contrainte maximale de la courbe est à peu près égale 0,95 MPa



La figure 3.13 : courbes de contrainte-déformation de l'échantillon n° 4

- Une déformation plastique très important avant et pendant la propagation des fissures, donc l'échantillon est très ductile l'allongement à la rupture est élevé égale presque (108) mm.
- L'échantillon est ductile cela signifie qu'il a une faible rigidité et cela se traduit principalement par le module d'YOUNG (module d'élasticité), plus ce module est élevé, plus le matériau est rigide, dans ce cas le module d'élastique est faible.
- La résistance est contrainte maximale qu'un matériau supporte avant de rompre, la contrainte maximale de la courbe est à peu près égale 2,75 MPa

3.6. Conclusion

Dans ce chapitre, Nous vous donnons une idée de la façon de préparer le béton de fibre de fibre de palmier dattier, nous préparons aussi délibérément plusieurs échantillons à des proportions différentes. Et nous avons étudié l'effet de la flexion et de compression sur le béton de voir la fibre de palmier et les propriétés mécaniques de cette étude ont montré que:

[Tapez le titre du document]

- Le paramètre principal influer sur l'énergie de choc ci le paramètre F/C , si le paramètre chaque fois entre (30% à 60%), l'échantillon était le plus grand résistant aux chocs.
- Le béton de fibre généralement se caractérisé de grand ductilité, le module d'élasticité est faible.
- La contrainte maximale de la flexion est faible et un comportement élastique non linéaire

Conclusion générale

Notre travail est une étude expérimentale d'élaboration est la mise en œuvre de bétons de fibre de palmier sur leurs caractéristiques mécaniques, cette recherche est d'optimiser le procédé de réalisation du béton de fibre de palmier, pour améliorer la propriété mécanique du matériau, cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La connaissance de préparation du béton de fibres de palmier,
- Nous constatons que le paramètre principal influant sur l'énergie de choc c'est le rapport de la masse de la fibre et la chaux (F /C).
- Nous constatons que la contrainte maximale de la flexion de cet matériau avant la rupture est très faible, et se caractérisé par un grand allongement, ce qui indique une plus grande ductilité et donc ce matériau n'est pas fragile, avec un comportement élastique non linéaire par ce que la déformation élastique n'est pas proportionnelle à la charge qui la provoque

D'autre part, nous avons tiré de l'expérience de la compression sur les échantillons de béton de fibre de palmier les propriétés mécaniques suivant:

- Les échantillons sont ductiles cela signifie qu'ils a une faible rigidité et cela se traduit principalement par le module d'YOUNG (module d'élasticité), plus ce module est élevé, plus le matériau est rigide, dans ce cas le module d'élastique est faible.

Bibliographies

- [1] BLEDZKI, A. K and GASSAN. J, Composites reinforced with cellulose based fibers ELSEVIER, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274, 1999.
- [2] ABANI S. Caractérisation et durabilité des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2003, PP67.
- [3] KRIKER A. Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec, Thèse de Doctorat d'Etat, ENP, 2005, PP166.
- [4] DJOUDI A. Caractérisation structurale et rhéologique des bétons de plâtre et leurs renforcements par les fibres végétales du palmier dattier, Mémoire de Magister, C.U Laghouat, 2001.
- [5] HOLMER S., VAHAN A. Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites, Cement and concrete composites 21, 1999, 49-57
- [6] COOK D.J. Concrete and cement composites reinforced with natural fibres, proc. Symp. On fibrous concrete. Construction press ltd., Lancaster, pp. 99-114, April. 1980.
- [7] NILSON, L., Reinforced concrete with sisal and other vegetable fibers, Swedish council for building research, document d 14, 1975.
- [8] AYYAR, T.S.R., and MIRIHAGALLA, P.K., elephant grass fibres as reinforcing fiber, magazine of concrete research, vol.28, N°96, pp. 162-167, September 1976.
- [9] COUTTS, R.S.P., Flax fibers as a reinforcement in cement mortar, the international journal of cement composites and lightweight concrete, vol.5 N°4, pp 257-262, 1983.
- [10] SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S., Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers. The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, p 13 N°1, 1984.
- [11] KRIKER A., DEBICKI G., BALI A., KHENFER M.M., CHABANNET M, "Valorization of date palm fibers in reinforcement of concrete at hot dry climate", pp20 –22 Sept. Vienna, ITALY 2004.
- [12] TOLÈDO, F. R.D, GHAVAMI, K., ENGLAN, D. G. L, SCRIVENER, K. Development of vegetable fibers-mortar composites of improved durability, ELSEVIER, Cement and concrete composite, volume 25, p12 ,2003.

[13] LARRARD F., "Construire en béton : l'essentiel sur les matériaux" LCPC, Paris 2002.

[14] SWAMY, R.N, Properties of high-strength concrete, Cement concrete and aggregates vol.8,N°1, pp.33-41,1986.

[15] KHENFER, M. M. Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres celluloses. Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990.

[16] LACROIX, R., FUENTES, A. et THONIER, H. Traité de béton armé
Édition EYROLLES Paris, 1982

[17] MERKHOUI A. " Contribution à l'étude des propriétés et déformations du béton renforcé par les fibres du palmier dattier en climat sec et chaud " mémoire de Magister, Université d'Ouargla, 2004, PP69.

[18] MOKHTARI, F., Contribution à l'étude des composites à base de liants pouzzolaniques et de bambou. Thèse de docteur, INSA Lyon, 1991.

[19] GRAM, H.E., ? Durability of natural fibers in concrete, Swedish cement and concrete research Fo.1:83,p.255,1983.

[20] TOLÈDO, F.R.D., SCRIVENER, K., ENGLAND, G.L., GHAVAMI, K.,
Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibers in cement mortar composites , ELSEVIER, Cement and concrete composite, volume 22, pp.127-143, 2000.

Annexe



Photo 1 : Fibres de palmier dattier coupées



Photo 2 : moule de bois



Photo 3 : essai de compression



Photo 4 : représente la fissuration d'échantillon après un test de compression

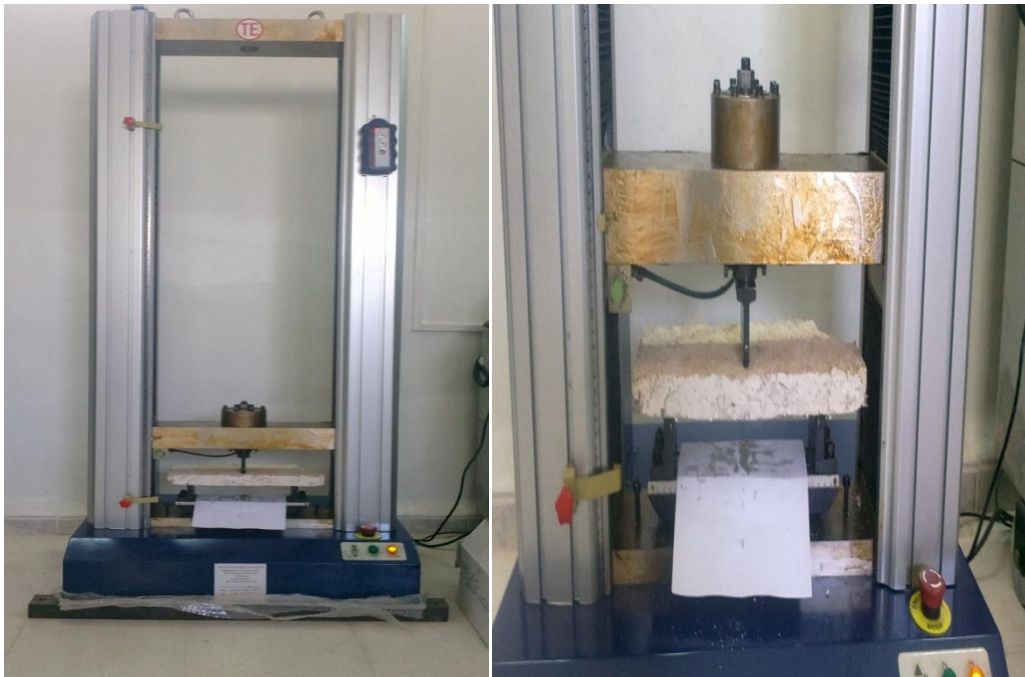


Photo 5 : essai de flexion



Photo 6 : représente la fissuration d'échantillon après un test de flexion

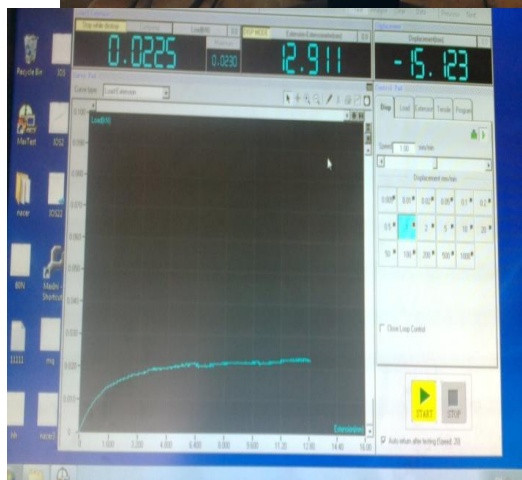
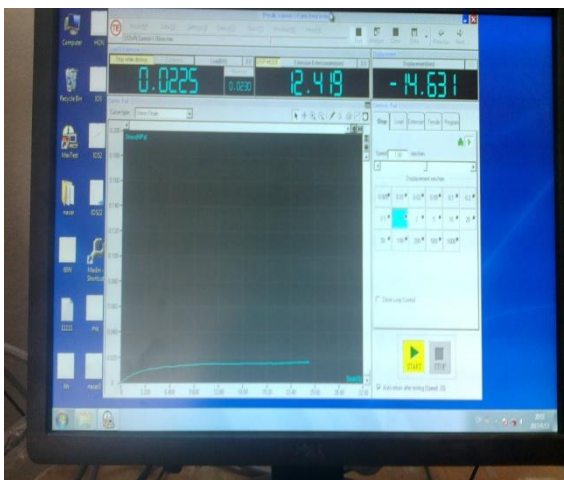


Photo 6 : L'affichage de courbes dans l'écran d'ordinateur



Photo 6 : Echantillon de béton de fibre de palmier dattier

Résumé

Le renforcement des bétons de construction par de fibre de palmier dattier est une nouvelle technique, dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques.

Les propriétés mécaniques du béton de fibre de palmier dattier dépendent de plusieurs facteurs qui sont les conditions de mise en œuvre, le dosage.

Dans notre travail nous avons étudié les caractéristiques mécaniques, notamment leurs résistances à la flexion et à la compression et la résistance de choc de béton de fibres de palmier dattier.

Nous avons montré que le béton de fibre de palmier dattier est très ductile, le module d'YOUNG faible.

Mots clés : bétons, fibres, ductile, module d'YOUNG, palmier dattier, compression, flexion, résistance de choc.

Abstract

The reinforcement of building concretes by date palm fiber is a new technique, with an aim of improving their mechanical characteristics

The mechanical characteristics of concrete fibers depend on several factors such as experimental conditions, implementation, dosing

In our work we studied the mechanical properties, especially their flexural and compressive and shock resistance of concretes by fibers of date palm

We have shown that the concretes by fibers of date palm is very ductile, low Young's module

Key words: concretes, fibers, ductile, Young's module, date palm, compressive, flexural, shock resistance.

الملخص

إن تعزيز الخرسانة بألياف النخيل هي تقنية جديدة وذلك من أجل تحسين خصائصها الميكانيكية.

الخصائص الميكانيكية لخرسانة ألياف النخيل تتعلق بكثير من العوامل وهي شروط العمل الصحيحة و عامل النسب.

في عملنا هذا قمنا بدراسة الخصائص الميكانيكية، ولقد على تجارب الانحناء والضغط كما قمنا بتجربة مقاومة الصدمات لخرسانة ألياف النخيل.

في الأخير توصلنا إلى إن خرسانة ألياف النخيل تمتاز بليونية كبيرة و بانخفاض معامل يونغ

الكلمات المفتاحية : الخرسانة, الألياف, ليونة, معامل يونغ, النخيل, الضغط, الانحناء, مقاومة الصدمات

[Tapez le titre du document]
